

^{18}F -FDG PET/CT在IgG4相关心血管疾病中的应用进展

Research progress of ^{18}F -FDG PET/CT in IgG4 related cardiovascular diseases

Song Lele, Qiu Yongkang, Zhang Xiaoyue, Kang Lei

引用本文:

宋乐乐, 邱永康, 张潇月, 等. ^{18}F -FDG PET/CT在IgG4相关心血管疾病中的应用进展[J]. 国际放射医学核医学杂志, 2024, 48(0): 1-5. DOI: 10.3760/cma.j.cn121381-202303013-00390

Song Lele, Qiu Yongkang, Zhang Xiaoyue, et al. Research progress of ^{18}F -FDG PET/CT in IgG4 related cardiovascular diseases[J]. *International Journal of Radiation Medicine and Nuclear Medicine*, 2024, 48(0): 1-5. DOI: 10.3760/cma.j.cn121381-202303013-00390

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.3760/cma.j.cn121381-202303013-00390>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

PET/MR在心血管疾病中的应用进展

Progress in the application of PET/MR in diagnosing cardiovascular diseases

国际放射医学核医学杂志. 2020, 44(7): 447-452 <https://doi.org/10.3760/cma.j.cn121381-201904034-00047>

^{18}F -FDG PET/CT在胃癌中的临床应用进展

Research progress in the clinical application of ^{18}F -FDG PET/CT in gastric cancer

国际放射医学核医学杂志. 2020, 44(12): 775-779 <https://doi.org/10.3760/cma.j.cn121381-201908004-00097>

皮下脂膜炎样T细胞淋巴瘤 ^{18}F -FDG PET/CT影像分析并文献复习（附4例报道）

Imaging results of ^{18}F -FDG PET/CT in patients with subcutaneous panniculitis-like T cell lymphoma: 4 cases report and review of related literature

国际放射医学核医学杂志. 2019, 43(1): 10-16 <https://doi.org/10.3760/cma.j.issn.1673-4114.2019.01.003>

^{18}F -FDG PET/CT相关参数预测结直肠癌切除术预后的价值

^{18}F -FDG PET/CT related parameters can predict postoperative prognosis of colorectal cancer

国际放射医学核医学杂志. 2019, 43(4): 295-302 <https://doi.org/10.3760/cma.j.issn.1673-4114.2019.04.001>

^{18}F -FDG PET/CT在胃癌分期、复发检测及预后评估中的应用价值

Progress in research on the use of ^{18}F -FDG PET/CT in the staging, recurrence detection, and prognosis evaluation of patients with gastric carcinoma

国际放射医学核医学杂志. 2018, 42(6): 541-546 <https://doi.org/10.3760/cma.j.issn.1673-4114.2018.06.012>

^{11}C -胆碱与 ^{18}F -FDG双时相PET/CT显像结合高分辨率CT在孤立性肺结节鉴别诊断中的应用

Application of ^{11}C -CHO and ^{18}F -FDG dual-phase PET/CT imaging combined with high-resolution computed tomography in differential diagnosis of solitary pulmonary nodules

国际放射医学核医学杂志. 2017, 41(5): 325-330, 346 <https://doi.org/10.3760/cma.j.issn.1673-4114.2017.05.004>

·综述·

¹⁸F-FDG PET/CT 在 IgG4 相关心血管疾病中的应用进展

宋乐乐 邱永康 张潇月 康磊

北京大学第一医院核医学科, 北京 100034

通信作者: 康磊, Email: kanglei@bjmu.edu.cn

【摘要】 免疫球蛋白 G4 相关疾病(IgG4-RD)是一种全身炎症性疾病, 通常累及多个器官。IgG4 相关心血管疾病(IgG4-RCVD)包括 IgG4 相关主动脉病变、IgG4 相关冠状动脉病变、IgG4 相关肺动脉病变和 IgG4 相关心包炎。IgG4-RCVD 受累部位 IgG4 阳性浆细胞聚集并高表达葡萄糖转运蛋白。¹⁸F-氟脱氧葡萄糖(FDG)PET/CT 可以基于 IgG4-RCVD 患者病变部位的代谢程度在全身范围内评估血管炎症的范围和程度, 在诊断和定量评估 IgG4-RCVD 血管炎症、指导活检部位选择以及疗效监测等方面起到关键作用。笔者对¹⁸F-FDG PET/CT 在 IgG4-RCVD 应用中的进展进行综述, 以期为临床医师通过¹⁸F-FDG PET/CT 诊断 IgG4-RCVD 提供参考。

【关键词】 氟脱氧葡萄糖 F18; 正电子发射断层显像术; 体层摄影术, X 线计算机; 免疫球蛋白 G4 相关疾病; 免疫球蛋白 G4 相关心血管疾病

基金项目: 国家自然科学基金面上项目(82171970); 北京市杰出青年科学基金项目(JQ21025); 北京市科学技术委员会首都临床特色应用研究项目(Z221100007422027)

DOI: [10.3760/cma.j.cn121381-202303013-00390](https://doi.org/10.3760/cma.j.cn121381-202303013-00390)

Research progress of ¹⁸F-FDG PET/CT in IgG4 related cardiovascular diseases

Song Lele, Qiu Yongkang, Zhang Xiaoyue, Kang Lei

Department of Nuclear Medicine, Peking University First Hospital, Beijing 100034, China

Corresponding author: Kang Lei, Email: kanglei@bjmu.edu.cn

【Abstract】 Immunoglobulin G4-related disease (IgG4-RD) is a type of systemic inflammatory diseases that often affect multiple organs. IgG4-related cardiovascular disease (IgG4-RCVD) includes IgG4-related aortic disease, IgG4-related coronary artery disease, IgG4-related pulmonary artery disease, and IgG4-related pericarditis. IgG4-positive plasma cells accumulate and exhibit high expression of glucose transport proteins at the site of IgG4-RCVD involvement. ¹⁸F-fluorodeoxyglucose (FDG) PET/CT can assess the extent and degree of vascular inflammation on a systemic scale by evaluating the metabolic activity of lesions in IgG4-RCVD patients. It plays a pivotal role in diagnosing and quantitatively assessing IgG4-RCVD vascular inflammation, aiding in the selection of biopsy sites, and monitoring treatment efficacy. The authors conducted a comprehensive review of the advancements in the utilization of ¹⁸F-FDG PET/CT for IgG4-RCVD, aiming to furnish clinicians with a valuable reference for diagnosing IgG4-RCVD through the application of ¹⁸F-FDG PET/CT.

【Key words】 Fluorodeoxyglucose F18; Positron-emission tomography; Tomography, X-ray computed; Immunoglobulin G4-related disease; Immunoglobulin G4-related cardiovascular disease

Fund programs: General Program of National Natural Science Foundation of China (82171970); Beijing Science Foundation for Distinguished Young Scholars (JQ21025); Beijing Municipal Science and Technology Commission Capital Characteristic Clinical Application Research (Z221100007422027)

DOI: [10.3760/cma.j.cn121381-202303013-00390](https://doi.org/10.3760/cma.j.cn121381-202303013-00390)

免疫球蛋白 G4 相关疾病 (immunoglobulin G4-related disease, IgG4-RD) 是一种罕见的、进行性加重的全身炎症

性疾病, 常伴血清 IgG4 水平异常升高。IgG4 阳性浆细胞浸润和席纹状纤维化是其主要的组织病理学特点, 其潜在

的受累部位包括胰腺、垂体、硬脑膜、眼眶、副鼻窦、甲状腺、乳腺、肺、肝脏、胆道、肾脏、前列腺、腹膜后和皮肤^[1]。当 IgG4-RD 累及心血管系统时可导致 IgG4 相关心血管疾病 (IgG4-related cardiovascular disease, IgG4-RCVD)。IgG4-RCVD 的病变部位以冠状动脉、心脏瓣膜、心肌、心包、主动脉、肺部血管和全身周围血管等多见^[2]。病灶组织活检是诊断 IgG4-RCVD 的重要手段,但其为有创性检查且操作难度较大。¹⁸F-FDG PET/CT 集功能显像和解剖显像于一体,可以同时提供病灶形态、密度及功能代谢的双模态信息。IgG4-RCVD 受累部位 IgG4 阳性浆细胞聚集且高表达葡萄糖转运蛋白, ¹⁸F-FDG PET/CT 基于 IgG4-RCVD 患者病变部位的代谢程度在全身范围内评估血管炎症的范围和程度。¹⁸F-FDG PET/CT 作为一种更直观、更全面的检查手段,在诊断和定量评估血管炎症、指导活检部位选择以及疗效监测等方面起关键作用。本文对¹⁸F-FDG PET/CT 在 IgG4-RCVD 中的应用进展进行综述。

1 IgG4 相关主动脉病变

IgG4 相关主动脉病变包括主动脉炎和主动脉周围炎。约有 10%~30% 的 IgG4-RD 患者出现主动脉受累,其中男性患者多见^[3]。IgG4 相关主动脉病变患者的起病症状常不具有特异性,多表现为背部或腹部疼痛、下肢水肿和呼吸困难等。在 IgG4-RD 患者中,多种免疫因素共同导致了受累器官的炎症损伤和纤维化:T 淋巴细胞和 B 淋巴细胞相互作用,II 型 T 辅助细胞 2 细胞释放白细胞介素(interleukin, IL)-4,调节性 T 细胞(Treg)释放 IL-10,IL-4 和 IL-10 共同作用于 B 细胞,诱导 Ig 发生类别转换,从而产生大量 IgG4^[4]。IgG4 相关主动脉病变的组织病理学特点主要表现为大量 IgG4 阳性浆细胞呈席纹状或回旋状排列,浸润血管壁,主要累及血管外膜及周围的结缔组织^[5]。患者受累部位的动脉血管壁存在大量活化淋巴细胞及单核细胞,这些细胞高表达葡萄糖转运蛋白,可使¹⁸F-FDG 摄取增高。因此,¹⁸F-FDG PET/CT 可以用于评估病变动脉的炎症程度和全身病灶的受累范围,并有助于 IgG4 相关主动脉病变的鉴别诊断及疗效监测。

1.1 IgG4 相关主动脉炎

主动脉炎最初发生在血管外膜层,逐渐进展至中膜层,进而出现主动脉扩张、动脉瘤或急性主动脉综合征^[3]。最常发生 IgG4 相关主动脉炎的血管是腹主动脉和胸主动脉^[6]。IgG4 相关主动脉炎的临床表现不典型,发病隐匿。超声心动图和血管超声是诊断心血管病变最常用的无创影像技术,但二者对血管炎症病变的诊断灵敏度较低。计算机断层血管成像(computed tomography angiography, CTA)可以发现主动脉炎,其影像表现通常为血管壁增厚,但是缺乏特异

性^[2]。CTA 可以通过评估血管壁厚度判断血管炎症的程度,在诊断 IgG4 相关主动脉炎中较为常用^[7]。动脉炎的急性期过后,血管壁增厚仍会持续一段时间,这限制了 CTA 对动脉炎血管炎症活性及治疗反应的评估。与 CTA 相比,¹⁸F-FDG PET/CT 显像可以对 IgG4 相关主动脉炎进行精准监测。常规影像检查方法对于动脉炎局部病变的诊断有较大价值,但对全身病情的评估和早期病变形态不明显时的诊断存在困难。相比之下,¹⁸F-FDG PET/CT 在病变诊断和疗效监测上均具有较高的灵敏度,可以早期评估病变动脉的炎症活动并评估全身病灶的范围。

1.1.1 ¹⁸F-FDG PET/CT 在 IgG4 相关主动脉炎诊断中的应用

¹⁸F-FDG PET/CT 作为一种全身检查方法,能同时发现多处病灶,并可在血管形态发生改变前显示血管炎症,有助于早期诊断^[8]。Pérez-García 等^[7]对 1 例处于主动脉炎活动期的患者行¹⁸F-FDG PET/CT 显像,发现患者动脉血管壁对¹⁸F-FDG 的摄取明显增加,¹⁸F-FDG PET/CT 显像可以发现病变的准确范围,评估激素治疗后的反应。Yabusaki 等^[9]认为,动脉血管对¹⁸F-FDG 的摄取高于血池提示该动脉处于炎症活动期,为了更准确地对 IgG4 相关主动脉炎的活动性进行定量评价,他们检测了 37 例 IgG4-RD 患者的胸主动脉、腹主动脉、髂动脉及各血管分支区域的 SUV_{max},将动脉 SUV_{max} 与静脉血池 SUV_{max} 的比值作为靶本底比值,结果表明,约有 40% 的 IgG4-RD 患者被诊断为 IgG4 相关主动脉炎,IgG4 相关主动脉炎患者活动性炎症区域的 SUV_{max} 和靶本底比值显著升高(中位数分别为 3.7 和 2.1)。此外,该研究结果还表明 IgG4 相关主动脉炎患者多表现为多处血管区域受累,其中主动脉及其主要分支受累比例更大,这些部位的¹⁸F-FDG 摄取量是静脉血池的 2 倍多(中位数分别为 3.7 和 1.6)。Mitamura 等^[10]提出使用肿瘤代谢体积和糖酵解总量评估 IgG4-RD 的活动性,相较于 SUV_{max},肿瘤代谢体积和糖酵解总量能够反映病变部位整体的代谢活性,而且肿瘤代谢体积和糖酵解总量与血清学指标具有明显的相关性,有助于全面评估疾病的活动性并进行疗效监测。¹⁸F-FDG PET/CT 定量分析有助于减少临床医师的人为误差,实现更准确的病情变化监测和治疗反应评估。

1.1.2 ¹⁸F-FDG PET/CT 在 IgG4 相关主动脉炎治疗决策中的应用

有研究结果显示,在同时接受 CTA 和¹⁸F-FDG PET/CT 检查的 IgG4 相关主动脉炎患者中,CTA 可提示受累的胸主动脉血管壁增厚,而¹⁸F-FDG PET/CT 不仅提示胸主动脉受累部位¹⁸F-FDG 的摄取明显增高,还发现了其他多处动脉的代谢增高灶,从而改变了对患者的治疗决策^[11]。Yabusaki 等^[9]对 3 例 IgG4 相关主动脉炎患者行¹⁸F-FDG PET/CT 随访,发现 1 例患者新发主动脉弓¹⁸F-FDG 摄取增高,1 例腹主动

脉、髂总动脉¹⁸F-FDG摄取增高,确定了全身病变的范围。这说明¹⁸F-FDG PET/CT可为IgG4相关主动脉炎患者提供IgG4-RCVD的风险评估方法,并为治疗的选择提供帮助。

1.2 IgG4相关主动脉周围炎

IgG4相关主动脉周围炎包括胸主动脉周围炎和腹主动脉周围炎。腹主动脉周围炎血管的管壁炎症可累及血管周围的结缔组织,引起腹膜后纤维化,累及输尿管时可能导致肾积水。Löfller等^[12]对1例IgG4腹主动脉周围炎患者行¹⁸F-FDG PET/CT显像,结果显示,患者腹主动脉周围的¹⁸F-FDG摄取增高,腹部其他动脉、胸主动脉、升主动脉未见¹⁸F-FDG摄取增高,提示血管壁受累较轻且病变血管范围较小,有助于治疗方案的选择。IgG4相关主动脉周围炎受累血管的管壁可发生剧烈的炎症反应,主要表现为管壁明显增厚、巨噬细胞大量浸润,进而导致血管壁弹性纤维破裂,可伴有炎性动脉瘤^[13]。Zhang等^[8]的研究结果显示,主动脉炎可能是主动脉瘤的诱发因素,IgG4相关主动脉炎是非感染性主动脉炎中引起主动脉瘤的常见病因之一(3/9, 33.3%),其发病率与其他类型的主动脉炎(如高安氏和巨细胞动脉炎)相似,临床和影像特征无特异性,因此手术前的诊断具有挑战性。¹⁸F-FDG PET/CT显像在评估全身血管炎症、疗效、随访以及指导活检取样方面有重要作用。

2 IgG4相关冠状动脉病变

IgG4相关冠状动脉病变通常包括IgG4相关冠状动脉周围炎和冠状动脉瘤。除主动脉和髂动脉外,冠状动脉是IgG4-RD最常累及的动脉^[3]。1.3%~5.0%的IgG4-RD患者的冠状动脉受累,其中男性患者更常见^[6,14]。IgG4相关冠状动脉病变的组织病理学表现为冠状动脉血管外膜被大量IgG4阳性浆细胞浸润并继发血管壁纤维化,形态学表现为冠状动脉血管硬化样改变^[15]。当冠状动脉出现病变且其周围伴有软组织灶时,应考虑IgG4-RD。IgG4-RD累及冠状动脉的报道不多见,以心肌缺血为症状的更少见。IgG4相关冠状动脉瘤表现为冠状动脉周围炎性假瘤或纤维硬化性增厚。Huang等^[16]对3例经组织病理学检查结果证实为IgG4相关冠状动脉病变的患者行¹⁸F-FDG PET/CT显像,发现3例患者的冠状动脉周围均存在¹⁸F-FDG代谢增高的软组织肿块,但累及的冠状动脉血管部位不同。3例患者经免疫抑制剂治疗,¹⁸F-FDG PET/CT评估显示病变部位的SUV_{max}由6.9降至正常,随访期间患者未复发,这提示¹⁸F-FDG PET/CT在IgG4相关冠状动脉病变患者的疗效监测和预后评估中具有重要作用。对冠状动脉周围病灶行组织病理学检查较困难,¹⁸F-FDG PET/CT检查有助于发现全身其他¹⁸F-FDG摄取增高灶,进而发现准确安全的活检穿刺位点^[17]。有研究结果显示,IgG4-RD冠状动脉受累患者在¹⁸F-FDG PET/CT

引导下选择除冠状动脉之外的其他活检部位(如髂动脉、肾脏和嘴唇)的IgG4-RD检出率达100%^[18]。

当IgG4-RD累及冠状动脉导致冠状动脉炎时,¹⁸F-FDG PET/CT联合CTA在区分累及冠状动脉内皮下疾病(如高安氏病、川崎病)和累及冠状动脉的肿瘤(如淋巴瘤)方面有一定价值。CTA不仅可以显示冠状动脉管腔狭窄,还可以显示冠状动脉周围的纤维性增厚,“毡盖小猪征”或“榭寄生征”可作为诊断IgG4-RD冠状动脉受累的特征性表现^[19]。¹⁸F-FDG PET/CT能够评估IgG4相关冠状动脉炎患者全身其他器官,如淋巴结、唾液腺、胰腺和胸部(胸膜和椎旁区域)等的情况,如有其他器管和部位存在¹⁸F-FDG摄取增高灶,则提示存在IgG4-RD的可能。

IgG4-RCVD累及心肌时,心脏磁共振作为一种无电离辐射且无创的检查方法可以评估患者的瓣膜功能、心室的扩张程度、心室内压以及心肌收缩功能的改变^[20]。心脏磁共振可以观察到心肌水肿、局灶性或弥漫性心肌纤维化并评估心肌的收缩能力。IgG4-RCVD累及冠状动脉时导致心肌缺血的可能性较小,且其临床表现缺乏特异性。IgG4-RCVD累及心肌的早期,心肌炎症或心肌缺血的表现亦不典型^[21]。¹⁸F-FDG PET/CT可早期精准评估IgG4-RCVD患者的冠状动脉有无活动性炎症以及炎症的程度。

3 IgG4相关肺动脉病变

IgG4-RD累及肺动脉的情况较为罕见,其临床表现不典型,影像检查可对其进行辅助诊断。IgG4相关肺血管病变引起肺动脉炎和肺动脉周围炎时,其影像表现为肺动脉血管狭窄、扩张或肺动脉周围软组织肿块,肺动脉血管狭窄和周围软组织肿块压迫肺动脉血管导致肺动脉高压。¹⁸F-FDG PET/CT显像不但能够显示肺动脉血管壁增厚和¹⁸F-FDG摄取增高^[22],还有助于发现肺动脉血管以外的其他病灶。由于行肺动脉活检的风险较高,因此¹⁸F-FDG PET/CT显像有助于寻找更合适的活检部位。Zhou等^[23]研究发现,在15例确诊为IgG4-RD导致肺动脉高压的患者(表现为肺动脉炎、肺动脉瘤)中只有1例接受了肺动脉活检,其余患者均在¹⁸F-FDG PET/CT的指导下选择其他部位进行活检,¹⁸F-FDG PET/CT提高了检出率。当IgG4相关肺血管疾病患者出现肺血管旁肿物合并管腔狭窄,伴呼吸困难、咳嗽、咯血等症状时,需要与肺栓塞或恶性肿瘤相鉴别。¹⁸F-FDG PET/CT的SUV_{max}定量评价有助于IgG4相关肺动脉炎、肺栓塞和肺部恶性肿瘤的鉴别诊断。Deng等^[24]的研究结果表明,¹⁸F-FDG PET/CT是鉴别IgG4-RD相关肺动脉炎与恶性肿瘤和肺血栓的一种有效方法。在他们的研究中,IgG4相关肺动脉炎患者的¹⁸F-FDG摄取轻度增高(SUV_{max}=2.4),肺栓塞患者一般无¹⁸F-FDG摄取(SUV_{max}=0),恶性肺

瘤患者的¹⁸F-FDG摄取明显增高(SUV_{max}=15.3)。此外,类固醇激素治疗前后¹⁸F-FDG摄取的变化亦有助于IgG4-RD相关肺疾病患者的随访及指导个体化治疗。

4 IgG4 相关心包炎

IgG4-RD累及心包的病例鲜有报道。IgG4相关心包炎不能确诊或误诊时,病情可进一步恶化直至出现心脏压塞或缩窄性心包炎。超声心动图是检测心包病变的理想方法^[25],CT成像对心包积液和心包增厚也有临床诊断价值^[26]。¹⁸F-FDG PET/CT可以显示IgG4相关心包炎受累心包的增厚情况和全身多部位病变^[6,27]。Matsumiya等^[28]对1例以急性炎症为临床表现的IgG4相关心包炎患者行¹⁸F-FDG PET/CT,结果显示,患者心包增厚伴¹⁸F-FDG摄取片状增高,纵隔淋巴结¹⁸F-FDG摄取增高,行糖皮质激素治疗后,患者病灶的¹⁸F-FDG摄取均明显降低,这提示治疗效果良好。

5 小结与展望

¹⁸F-FDG PET/CT可以发现和监测IgG4-RCVD的炎症活动,且可在全身范围内进行综合评估。典型IgG4-RCVD患者受累部位的¹⁸F-FDG PET/CT多表现为¹⁸F-FDG摄取增加。¹⁸F-FDG PET/CT基于病变的结构和代谢程度进行显像,相较于CTA和心脏磁共振,能够更精准地监测血管的早期炎症,并反映炎症的活动性。此外,¹⁸F-FDG PET/CT能够对全身炎症进行显像,有利于寻找更合适的活检部位。与超声和CTA相比,¹⁸F-FDG PET/CT在实现对IgG4-RCVD患者病情精准评估和疗效评估方面具有优势。

¹⁸F-FDG是目前应用最广泛的放射性显像剂,其对炎症和肿瘤具有良好的诊断效能,但仍然存在一些局限性。心肌、肝脏等部位可生理性摄取¹⁸F-FDG,故易被误诊为病变部位的异常摄取^[29]。心肌生理性摄取¹⁸F-FDG的程度受患者血糖水平的影响,因此患者行¹⁸F-FDG PET/CT显像前需至少禁食18h,从而减少心肌摄取¹⁸F-FDG对显像结果的干扰^[27]。此外,心脏和呼吸运动可能会导致¹⁸F-FDG PET/CT显像产生伪影,从而影响对冠状动脉炎症的诊断,因此¹⁸F-FDG最常用于颈动脉、主动脉及其较大分支的血管炎症的评估。同时,¹⁸F-FDG PET/CT评估IgG4-RCVD患者行类固醇激素治疗疗效的标准尚未明确。近年来,越来越多的新型放射性显像剂在临床上推广应用,有助于临床医师更好地了解疾病的病理过程,同时可改善¹⁸F-FDG PET/CT在血管炎症显像方面的局限性。因此,如何进一步提高IgG4-RCVD早期诊断的准确性并制定标准化的治疗评估方案是未来研究的重要方向。

利益冲突 所有作者声明无利益冲突

作者贡献声明 宋乐乐、邱永康负责命题的提出、综述的撰写;张潇月负责综述的修改;康磊负责综述的审阅与修订

参 考 文 献

- [1] Sánchez-Oro R, Alonso-Muñoz EM, Martí Romero L. Review of IgG4-related disease[J]. *Gastroenterol Hepatol*, 2019, 42(10): 638–647. DOI: 10.1016/j.gastrohep.2019.08.009.
- [2] Mavrogeni S, Markousis-Mavrogenis G, Kolovou G. IgG4-related cardiovascular disease. The emerging role of cardiovascular imaging[J]. *Eur J Radiol*, 2017, 86: 169–175. DOI: 10.1016/j.ejrad.2016.11.012.
- [3] Peng LY, Zhang PP, Li JQ, et al. IgG4-related aortitis/periaortitis and periarteritis: a distinct spectrum of IgG4-related disease[J]. *Arthritis Res Ther*, 2020, 22(1): 103. DOI: 10.1186/s13075-020-02197-w.
- [4] Xiao X, Lian M, Zhang WC, et al. The immunologic paradoxes of IgG4-related disease[J]. *Clin Rev Allergy Immunol*, 2018, 54(2): 344–351. DOI: 10.1007/s12016-018-8679-y.
- [5] Stone JR. Aortitis, periaortitis, and retroperitoneal fibrosis, as manifestations of IgG4-related systemic disease[J]. *Curr Opin Rheumatol*, 2011, 23(1): 88–94. DOI: 10.1097/BOR.0b013e3283412f7c.
- [6] Oyama-Manabe N, Yabusaki S, Manabe O, et al. IgG4-related cardiovascular disease from the aorta to the coronary arteries: multidetector CT and PET/CT[J]. *Radiographics*, 2018, 38(7): 1934–1948. DOI: 10.1148/rg.2018180049.
- [7] Pérez-García CN, Olmos C, Vivas D, et al. IgG4-aortitis among thoracic aortic aneurysms[J]. *Heart*, 2019, 105(20): 1583–1589. DOI: 10.1136/heartjnl-2018-314499.
- [8] Zhang JJ, Chen H, Ma YR, et al. Characterizing IgG4-related disease with ¹⁸F-FDG PET/CT: a prospective cohort study[J]. *Eur J Nucl Med Mol Imaging*, 2014, 41(8): 1624–1634. DOI: 10.1007/s00259-014-2729-3.
- [9] Yabusaki S, Oyama-Manabe N, Manabe O, et al. Characteristics of immunoglobulin G4-related aortitis/periaortitis and periarteritis on fluorodeoxyglucose positron emission tomography/computed tomography co-registered with contrast-enhanced computed tomography[J/OL]. *EJNMMI Res*, 2017, 7(1): 20[2023-03-06]. <https://ejnmmires.springeropen.com/articles/10.1186/s13550-017-0268-1>. DOI: 10.1186/s13550-017-0268-1.
- [10] Mitamura K, Arai-Okuda H, Yamamoto Y, et al. Disease activity and response to therapy monitored by [¹⁸F]FDG PET/CT using volume-based indices in IgG4-related disease[J/OL]. *EJNMMI Res*, 2020, 10(1): 153[2023-03-06]. <https://ejnmmires.springeropen.com/articles/10.1186/s13550-020-00743-w>. DOI: 10.1186/s13550-020-00743-w.
- [11] Fathala A. Multimodalities imaging of immunoglobulin 4-related cardiovascular disorders[J]. *Curr Cardiol Rev*, 2019, 15(3): 224–229. DOI: 10.2174/1573403X15666190117101607.

- [12] Löffler C, Hoffend J, Rebel M, et al. A rare cause for lower back pain: a case of an IgG4-related periaortitis[J]. *Clin Rheumatol*, 2016, 35(1): 265–270. DOI: [10.1007/s10067-014-2535-0](https://doi.org/10.1007/s10067-014-2535-0).
- [13] Nikiphorou E, Galloway J, Fragoulis GE. Overview of IgG4-related aortitis and periaortitis. A decade since their first description[J]. *Autoimmun Rev*, 2020, 19(12): 102694. DOI: [10.1016/j.autrev.2020.102694](https://doi.org/10.1016/j.autrev.2020.102694).
- [14] Perugino CA, Wallace ZS, Meyersohn N, et al. Large vessel involvement by IgG4-related disease[J]. *Medicine (Baltimore)*, 2016, 95(28): e3344. DOI: [10.1097/MD.00000000000003344](https://doi.org/10.1097/MD.00000000000003344).
- [15] Ramdin N, Orde M, O'Neill SB, et al. Hidden IgG4-related coronary disease: an autopsy study[J]. *Am J Clin Pathol*, 2021, 156(3): 471–477. DOI: [10.1093/ajcp/aqaa258](https://doi.org/10.1093/ajcp/aqaa258).
- [16] Huang HL, Fong W, Peh WM, et al. The utility of FDG PET/CT in IgG4-related disease with a focus on coronary artery involvement[J]. *Nucl Med Mol Imaging*, 2018, 52(1): 53–61. DOI: [10.1007/s13139-017-0494-5](https://doi.org/10.1007/s13139-017-0494-5).
- [17] Tsuji S, Iwamoto N, Horai Y, et al. Comparison of the quantitative measurement of ^{18}F -FDG PET/CT and histopathological findings in IgG4-related disease[J]. *Clin Exp Rheumatol*, 2021, 39(6): 1338–1344. DOI: [10.55563/clinexprheumatol/bsrhey](https://doi.org/10.55563/clinexprheumatol/bsrhey).
- [18] Fragoulis GE, Evangelatos G, Tektonidou MG. Vasculitis beyond aortitis in IgG4-related disease (IgG4-RD): case report and review of the literature[J]. *Clin Rheumatol*, 2021, 40(3): 1167–1173. DOI: [10.1007/s10067-020-05302-1](https://doi.org/10.1007/s10067-020-05302-1).
- [19] Xu X, Bai W, Ma H, et al. Remission of "mistletoe sign" after treatment[J]. *J Cardiovasc Comput Tomogr*, 2020, 14(6): e118–e119. DOI: [10.1016/j.jcct.2019.08.002](https://doi.org/10.1016/j.jcct.2019.08.002).
- [20] Russo V, Lovato L, Ligabue G. Cardiac MRI: technical basis[J]. *Radiol Med*, 2020, 125(11): 1040–1055. DOI: [10.1007/s11547-020-01282-z](https://doi.org/10.1007/s11547-020-01282-z).
- [21] Delgado-García G, Sánchez-Salazar S, Rendón-Ramírez E, et al. Myocardial ischemia as presenting manifestation of IgG4-related disease: a case-based review[J]. *Clin Rheumatol*, 2016, 35(11): 2857–2864. DOI: [10.1007/s10067-016-3292-z](https://doi.org/10.1007/s10067-016-3292-z).
- [22] Dong AS, Wang Y, Zuo CJ. FDG PET/CT in IgG4-related peripulmonary arteritis[J]. *Clin Nucl Med*, 2016, 41(10): e439–e440. DOI: [10.1097/RLU.0000000000001208](https://doi.org/10.1097/RLU.0000000000001208).
- [23] Zhou Y, Shao LY, Ruan WJ, et al. Pulmonary vascular involvement of IgG4-related disease: case series with a PRISMA-compliant systemic review[J]. *Medicine (Baltimore)*, 2019, 98(6): e14437. DOI: [10.1097/MD.00000000000014437](https://doi.org/10.1097/MD.00000000000014437).
- [24] Deng H, Zhao S, Yue YL, et al. IgG4-related disease of pulmonary artery causing pulmonary hypertension[J]. *Medicine (Baltimore)*, 2018, 97(20): e10698. DOI: [10.1097/MD.00000000000010698](https://doi.org/10.1097/MD.00000000000010698).
- [25] Friedberg MK. Imaging right-left ventricular interactions[J]. *JACC Cardiovasc Imaging*, 2018, 11(5): 755–771. DOI: [10.1016/j.jcmg.2018.01.028](https://doi.org/10.1016/j.jcmg.2018.01.028).
- [26] 薛志伟, 赵倩, 宋丽俊, 等. 经胸超声心动图联合 CT 对缩窄性心包炎的诊断价值[J]. *中国 CT 和 MRI 杂志*, 2021, 19(1): 95–97. DOI: [10.3969/j.issn.1672-5131.2021.01.033](https://doi.org/10.3969/j.issn.1672-5131.2021.01.033).
Xue ZW, Zhao Q, Song LJ, et al. Diagnostic value of transthoracic echocardiography combined with CT in constrictive pericarditis[J]. *Chin J CT MRI*, 2021, 19(1): 95–97. DOI: [10.3969/j.issn.1672-5131.2021.01.033](https://doi.org/10.3969/j.issn.1672-5131.2021.01.033).
- [27] Matsuda J, Takano H, Shimizu W. IgG4-related periarteritis in the coronary artery and subclinical pericarditis assessed the presence and monitoring of therapy response by PET and CT scan[J/OL]. *BMJ Case Rep*, 2018, 2018: bcr2018225172[2023-03-06]. <https://casereports.bmj.com/content/2018/bcr-2018-225172.long>. DOI: [10.1136/bcr-2018-225172](https://doi.org/10.1136/bcr-2018-225172).
- [28] Matsumiya R, Hosono O, Yoshikawa N, et al. Elevated serum IgG4 complicated by pericardial involvement with a patchy ^{18}F -FDG uptake in PET/CT: a typical presentation of IgG4-related disease[J]. *Intern Med*, 2015, 54(18): 2337–2341. DOI: [10.2169/internalmedicine.54.4340](https://doi.org/10.2169/internalmedicine.54.4340).
- [29] Manabe O, Yoshinaga K, Ohira H, et al. The effects of 18-h fasting with low-carbohydrate diet preparation on suppressed physiological myocardial ^{18}F -fluorodeoxyglucose (FDG) uptake and possible minimal effects of unfractionated heparin use in patients with suspected cardiac involvement sarcoidosis[J]. *J Nucl Cardiol*, 2016, 23(2): 244–252. DOI: [10.1007/s12350-015-0226-0](https://doi.org/10.1007/s12350-015-0226-0).

(收稿日期: 2023-03-07)